

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 774 098

(21) N° d'enregistrement national :

98 00860

(51) Int Cl<sup>6</sup> : C 22 C 38/04, F 16 C 7/00

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 28.01.98.

(71) Demandeur(s) : ASCOMETAL Societe anonyme —  
FR.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 30.07.99 Bulletin 99/30.

(72) Inventeur(s) : BELLUS JACQUES, DIERICKX  
PIERRE, JACOT VINCENT et ROBELET MARC.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule

(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(74) Mandataire(s) : USINOR.

(54) ACIER ET PROCEDE POUR LA FABRICATION DE PIECES DE MECANIQUE SECABLES.

(57) Acier pour la fabrication d'une pièce de mécanique sécable caractérisé en ce que sa composition chimique comprend, en poids: 0, 2 % ≤ C ≤ 0, 4%; 0, 1 % ≤ Si ≤ 1, 5%; 0, 3% ≤ Mn ≤ 1, 4%; 0% ≤ Ni + Cr ≤ 0, 45%; 0% ≤ Mo ≤ 0, 06%; 0% ≤ Cu ≤ 0, 5%; 0, 2% ≤ V ≤ 0, 5%; P ≤ 0, 150%; 0, 005% ≤ N ≤ 0, 02%; éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb jusqu'à 0, 1%, le tellure jusqu'à 0, 15%, le bismuth jusqu'à 0, 15%, le sélénium jusqu'à 0, 02%, le soufre jusqu'à 0, 35%, et le calcium jusqu'à 0, 005%;, éventuellement au moins un élément pris parmi le titane jusqu'à 0, 05%, le niobium jusqu'à 0, 1%, et l'aluminium jusqu'à 0, 07%, le reste étant du fer et des impuretés et des résiduels résultant de l'élaboration. Procédé pour la fabrication d'une pièce sécable et pièce obtenue.

FR 2 774 098 - A1



1

## ACIER ET PROCEDE POUR LA FABRICATION DE PIECES DE MECANIQUE SECABLES

La présente invention concerne un acier pour la fabrication d'une pièce de mécanique sécable, et notamment pour la fabrication d'une bielle pour moteur à combustion interne.

Certaines pièces de mécanique telles que, par exemple, les bielles de moteur à combustion interne sont constituées d'au moins deux éléments séparables assemblés par des moyens de fixation tels que des vis. Ces pièces peuvent être en fonte, en poudre métallique frittée et forgée, ou en acier forgé.

10 L'invention concerne les pièces, et notamment les bielles, en acier forgé.

L'acier qui constitue les bielles en acier forgé doit être forgeable, usinable facilement, présenter des caractéristiques mécaniques permettant d'assurer une bonne tenue en service des bielles. Les caractéristiques mécaniques généralement requises sont une dureté comprise entre 210 HB et 360 HB et une résistance à la rupture comprise entre 650 MPa et 1200 MPa, pour obtenir une tenue à la fatigue suffisante, et une limite d'élasticité comprise entre 300 MPa et 800 MPa afin d'éviter les déformations par dépassement de la limite d'élasticité. Pour certaines bielles, la limite d'élasticité Re doit être supérieure à 700 MPa, et la résistance à la traction doit être inférieure à 1100 MPa.

20 Les bielles qui comportent deux parties séparées, un corps et un chapeau, peuvent être fabriquées par forgeage d'une ébauche. L'ébauche est ensuite usinée puis séparée en deux parties par rupture fragile selon un plan prédéterminé. Cette technique, dite des pièces sécables, présente plusieurs avantages et, notamment, celui de simplifier considérablement la gamme de fabrication en supprimant des opérations d'usinage. En revanche, elle exige 25 l'utilisation d'un acier « sécable », c'est à dire permettant d'effectuer l'opération de rupture fragile dans de bonnes conditions.

Pour fabriquer des bielles sécables, on a proposé dans la demande de brevet japonais JP 8-291373, d'utiliser un acier contenant de 0,4 % à 0,6 % de carbone, de 0,5 % à 5 % de silicium, de 0,1 % à 0,8 % de manganèse, de 0,1 % à 30

0,5 % de chrome, de 0,1 % à 0,5 % d'vanadium, de 0,01 % à 0,2 %, et de préférence plus de 0,05 %, de phosphore, le reste étant du fer, des impuretés et éventuellement de petites additions destinées à améliorer l'usinabilité. Cet acier présente cependant l'inconvénient d'avoir une structure presque totalement perlitique ce qui limite la fraction en ferrite et donc l'effet de durcissement par précipitation de carbonitrides, ainsi que la fragilisation de celle-ci. De plus, pour ces aciers, les caractéristiques de traction (Re et Rm) sont très sensibles aux conditions de refroidissement, ce qui diminue la fiabilité de la fabrication en série de pièces.

On a également proposé dans la demande de brevet français FR 2 742 448 d'utiliser un acier contenant de 0,25 % à 0,5 % de carbone, de 0,2 % à 1,5 % de silicium, de 0,1 % à 2 % de manganèse, moins de 0,15 % de chrome, moins de 0,15 % de nickel, moins de 0,05 % de molybdène, moins de 0,35 % de cuivre, de 0 % à 0,2 % de vanadium, de 0,04 % à 0,2 % de phosphore, de 0,005 % à 0,02 % d'azote, le reste étant du fer, des impuretés et éventuellement de petites additions destinées à améliorer l'usinabilité. Cet acier permet d'obtenir une structure ferrito-perlitique facilement sécable. En revanche, il ne permet pas d'obtenir à la fois une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa et une résistance à la traction inférieure à 1100 MPa. De plus, la sécabilité ne peut être obtenue qu'avec une addition importante de phosphore, ce qui présente l'inconvénient d'accroître les risques de ségrégation rendant l'usinage difficile.

Le but de la présente invention est de remédier à ces inconvénients en proposant un moyen pour fabriquer des pièces forgées sécables dont la limite d'élasticité soit supérieure à 700 MPa et la résistance à la traction inférieure à 1100 MPa, ayant une bonne usinabilité, et pour lesquelles on peut réaliser une opération de rupture fragile dans des conditions industrielles satisfaisantes.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour la fabrication d'une pièce de mécanique sécable dont la composition chimique comprend, en poids:

$$0,2 \% \leq C \leq 0,4 \%$$

$0,1 \% \leq Si \leq 1,5 \%$

$0,3 \% \leq Mn \leq 1,4 \%$

$0,2 \% \leq V \leq 0,5 \%$

$P \leq 0,150\%$

5

$0,005\% \leq N \leq 0,02\%$

- éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb jusqu'à 0,1 %, le tellure jusqu'à 0,15 %, le bismuth jusqu'à 0,15 %, le sélénium jusqu'à 0,02 %, le soufre jusqu'à 0,35 %, et le calcium jusqu'à 0,005 %,

10 - éventuellement au moins un élément pris parmi le titane jusqu'à 0,05 %, le niobium jusqu'à 0,1 %, et l'aluminium jusqu'à 0,07 %,

le reste étant du fer et des impuretés et des résiduels résultant de l'élaboration.

De préférence, la teneur en phosphore est inférieure à 0,03 %. De préférence également, les résiduels que sont le nickel, le chrome et le molybdène sont tels que :

15

$Ni + Cr \leq 0,45 \%$

$Mo \leq 0,06 \%$

L'invention concerne également une pièce en cet acier dont la structure est essentiellement ferrito-perlitique, la fraction ferritique étant d'au moins 30 %, dont la résistance à la traction est inférieure à 1100 MPa, la limite d'élasticité est 20 supérieure à 700 MPa, le rapport Re/Rm est supérieur à 0,75 et la résilience Kcv est inférieure à 7 Joules/cm<sup>2</sup>. Cette pièce qui peut être une bielle, est sécable.

L'invention concerne, enfin, un procédé pour la fabrication d'une pièce en acier comportant au moins deux parties séparées selon lequel :

- on chauffe un lopin en acier selon l'invention à une température comprise entre

25  $Ac_3 + 150 ^\circ C$  et  $1370 ^\circ C$ ,

- on forge le lopin afin d'obtenir une ébauche de pièce,

- après forgeage, on refroidit l'ébauche de pièce jusqu'à la température ambiante à une vitesse comprise entre 0,4 °C/s et 1,5 °C/s au moment du passage à 700 °C,

- on effectue un ou plusieurs usinages de l'ébauche de pièce,

30 et on sépare la pièce obtenue en au moins deux parties par rupture fragile.

L'invention va maintenant être décrite de façon plus précise mais non limitative.

L'acier selon l'invention est un acier de construction mécanique au carbone ou faiblement allié dont la composition chimique comprend, en poids:

- plus de 0,2% de carbone pour obtenir une résistance mécanique suffisante, mais moins de 0,4% de façon à éviter d'avoir une trop grande sensibilité des caractéristiques mécaniques aux conditions de refroidissement, et pour éviter également d'avoir une dureté trop grande rendant l'usinage difficile ;
- de 0,1% à 1,5% de silicium; le silicium est un élément désoxydant qui doit être ajouté en des teneurs supérieures à 0,1% pour assurer une bonne désoxydation ; en des teneurs inférieures à 1,5 %, et de préférence comprises entre 0,6 % et 1,2%, cet élément durcit et fragilise la ferrite ce qui est favorable à une bonne usinabilité et à une bonne aptitude à la rupture fragile ;
- de 0,3% à 1,4% de manganèse afin de fixer le soufre sous forme de sulfures de manganèse et pour ajuster la trempabilité afin d'obtenir une structure essentiellement ferrito-perlitique contenant au moins 30 % de ferrite, ce qui est favorable à l'usinabilité ; de préférence, la structure contient au moins 90 % de ferrite-perlite ;
- de 0,2 % à 0,4 % de vanadium pour durcir la ferrite, obtenir une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa et un rapport limite d'élasticité sur résistance à la rupture supérieur à 0,75, ce qui est favorable à une bonne aptitude à la rupture fragile ;
- jusqu'à 0,2% de phosphore, mais de préférence moins de 0,03 %; une forte teneur en phosphore est favorable à une bonne aptitude à la rupture fragile, cependant, il est préférable de limiter sa teneur à 0,03 % pour limiter les ségrégations défavorables à l'aptitude à l'usinage ;
- de 0,005 % à 0,02 % d'azote pour former des nitrures de vanadium durcissant la ferrite.
- éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb jusqu'à 0,1 %, le tellure jusqu'à 0,15 %, le bismuth jusqu'à 0,15 %, le sélénium jusqu'à 0,02 %, le soufre jusqu'à 0,35 %, et le calcium jusqu'à 0,005 %, afin d'améliorer l'usinabilité ;

- éventuellement au moins un élément pris parmi le titane jusqu'à 0,05 %, le niobium jusqu'à 0,1 %, et l'aluminium jusqu'à 0,07 %, pour limiter le grossissement du grain lors du forgeage.

Le reste de la composition est constitué de fer, d'impuretés et de résiduels

5 résultant de l'élaboration. Les résiduels apportés par les matières premières sont notamment le nickel, le chrome et le molybdène. Afin d'obtenir une structure essentiellement ferrito-perlitique contenant au moins 30 % de ferrite, les teneurs en résiduels doivent, de préférence, être contrôlées pour que la somme des teneurs Ni + Cr reste inférieure à 0,45 %, et pour que la teneur en molybdène  
10 reste inférieure à 0,05 %.

De plus, afin de bien contrôler la structure, il est préférable que les teneurs en manganèse et en vanadium soient telles que  $Mn + 10 \times V \leq 5,2 \%$

Pour fabriquer une pièce sécable, on approvisionne un lopin d'acier selon l'invention, on le chauffe à une température comprise entre  $Ac_3 + 150^\circ C$  et  $1370^\circ C$  de façon à austénitiser et mettre en solution le vanadium, puis on le forge à chaud pour obtenir une ébauche de pièce, le forgeage se terminant à une température supérieure à  $800^\circ C$ . Directement après forgeage, l'ébauche de pièce est refroidie de façon contrôlée jusqu'à la température ambiante, par exemple à l'air, à une vitesse de refroidissement comprise entre  $0,5^\circ C/s$  et  $1,5^\circ C/s$  au passage à  $700^\circ C$ .

15 En procédant ainsi, on obtient une structure essentiellement ferrito-perlitique (c'est à dire, au moins à 90 % ferrito-perlitique) comportant au moins de 30% de ferrite, dont la limite d'élasticité  $Re$  est supérieure à 700 MPa et la résistance à la traction  $Rm$  est inférieure à 1100 MPa. De plus, la résilience  $Kcv$  inférieure à 7 Joules/cm<sup>2</sup> à la température ambiante et le rapport  $Re/Rm$  est supérieur à 0,75 ; Ces deux  
20 conditions permettent d'obtenir des cassures franches dont les lèvres ne sont pas déformées, ce qui définit la bonne sécabilité. L'ébauche de pièce ainsi obtenue,  
25 est alors usinée, puis divisée en deux éléments par rupture fragile.

A titre de premier exemple, on a fabriqué des bielles en utilisant un acier conforme à l'invention dont la composition chimique comprenait, en poids:

Si = 0,61 %

Mn = 1,02 %

V = 0,3 %

Ni = 0,214 %

5 Cr = 0,21 %

Mo = 0,05 %

Cu = 0,21 %

S = 0,059 %

P = 0,017 %

10 Al = 0,02 %

N = 0,0085 %

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

Avant forgeage, les lopins d'acier a été chauffé à 1270°C; la température de fin de forgeage a été de 1005°C. Après forgeage, l'ébauche a été refroidie à l'air à des vitesses de refroidissement moyenne à 700 °C de 0,9°C/s. Les caractéristiques obtenues ont été:

structure: ferrito-perlitique à 98 % avec 60% de ferrite,

Rm = 1050 MPa,

Re = 840 MPa,

20 A% = 14,5 %

Kcv = 4 Joules/cm<sup>2</sup> à la température ambiante.

Les ébauches ont alors été usinées puis toutes séparées en deux éléments par rupture fragile. Cette séparation par rupture fragile s'est faite sans difficultés.

A titre de deuxième exemple, on a fabriqué des bielles en utilisant un acier selon l'invention dont la composition chimique comprenait, en poids:

C = 0,208 %

Si = 0,605 %

Mn = 1,02 %

V = 0,3 %

30 Ni = 0,212 %

Cr = 0,211 %

Mo = 0,05 %

Cu = 0,205 %

S = 0,059 %

P = 0,016 %

Al = 0,022 %

N = 0,0077 %

5

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

Avant forgeage, le lopin d'acier a été chauffé à 1270°C; la température de  
10 fin de forgeage a été de 1025°C. Après forgeage, l'ébauche a été refroidie à l'air à  
des vitesses de refroidissement moyenne à 700 °C de 0,9°C/s. Les  
caractéristiques obtenues ont été:

structure: ferrito-perlitique à 98 % avec 60% de ferrite,

Rm = 950 MPa,

15 Re = 740 MPa,

A% = 17 %

Kcv = 5 Joules/cm<sup>2</sup> à la température ambiante.

Les ébauches ont alors été usinées puis toutes séparées en deux éléments  
par rupture fragile. Cette séparation par rupture fragile s'est faite sans difficultés.

## REVENDICATIONS

1 - Acier pour la fabrication d'une pièce de mécanique sécable caractérisé en ce que sa composition chimique comprend, en poids:

$$0,2 \% \leq C \leq 0,4 \%$$

$$0,1 \% \leq Si \leq 1,5 \%$$

$$0,3 \% \leq Mn \leq 1,4 \%$$

$$0,2 \% \leq V \leq 0,5 \%$$

$$P \leq 0,150\%$$

$$0,005\% \leq N \leq 0,02\%$$

10 - éventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le plomb jusqu'à 0,1 %, le tellure jusqu'à 0,15 %, le bismuth jusqu'à 0,15 %, le sélénium jusqu'à 0,02 %, le soufre jusqu'à 0,35 %, et le calcium jusqu'à 0,005 %,

- éventuellement au moins un élément pris parmi le titane jusqu'à 0,05 %, le niobium jusqu'à 0,1 %, et l'aluminium jusqu'à 0,07 %,

15 le reste étant du fer et des impuretés et des résiduels résultant de l'élaboration.

2 - Acier selon la revendication 1 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que:

$$P \leq 0,03\%$$

3 - Acier selon la revendication 1 caractérisé en ce que les résiduels que 20 sont le nickel, le chrome et le molybdène ont des teneurs telles que :

$$Ni + Cr \leq 0,45 \%$$

$$Mo \leq 0,06 \%$$

4 - Pièce en acier selon les revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que sa structure est essentiellement ferrito-perlitique, la fraction ferritique étant d'au 25 moins 30 %, et en ce que la résistance à la traction est inférieure à 1100 MPa, la limite d'élasticité est supérieure à 700 MPa, le rapport Re/Rm est supérieur à 0,75 et la résilience Kcv est inférieure à 7 Joules/cm<sup>2</sup>.

5 - Pièce selon la revendication 4 caractérisée en ce qu'elle est une bielle.

6 - Procédé pour la fabrication d'une pièce en acier comportant au moins 30 deux parties séparées caractérisé en ce que :

- on chauffe un lopin en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, à une température comprise entre  $Ac_3 + 150$  °C et 1370 °C,
- on forge le lopin afin d'obtenir une ébauche de pièce,
- après forgeage, on refroidit l'ébauche de pièce jusqu'à la température ambiante à 5 une vitesse comprise entre 0,4 °C/s et 1,5 °C/s au moment du passage à 700 °C,
- on effectue un ou plusieurs usinages de l'ébauche de pièce,  
et on sépare la pièce obtenue en au moins deux parties par rupture fragile.

REPUBLIQUE FRANCAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

N° d'enregistrement  
nationalFA 552310  
FR 9800860établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	EP 0 674 014 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 27 septembre 1995 * le document en entier *	1
X	& WO 95 10637 A (NIPPON STEEL CORPORATION) ---	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 95, no. 007, 31 août 1995 & JP 07 102340 A (NIPPON STEEL CORP.), 18 avril 1995 * abrégé *	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 457 (C-644), 16 octobre 1989 & JP 01 176055 A (KAWASAKI STEEL CORP.), 12 juillet 1989 * abrégé *	1,2
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 16, no. 400 (C-977), 25 août 1992 & JP 04 131323 A (KOBE STEEL LTD.), 6 mai 1992 * abrégé *	1,6
A	US 5 100 613 A (BODNAR ET AL.) 31 mars 1992 * revendications 1-18 *	1,2,6
A	US 3 173 782 A (MELLOY ET AL.) 16 mars 1965 * revendications 1-6 *	1
A	US 5 135 587 A (OLANIRAN ET AL.) 4 août 1992 * le document en entier *	1,4,5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		C22C
Date d'achèvement de la recherche		
17 septembre 1998		
Examinateur		
Lippens, M		
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgarion non écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**